

COB 结构功率 LED 封装取光效率的研究

宁俊 李小红 柴储芬 刘学林
厦门华联电子有限公司 361008

摘要: 本文根据 COB 封装的结构特点, 分析了 COB 封装 LED 光源的光路及影响 COB 封装取光效率的主要因素。针对关键的几个要素, 进行了结构光学优化设计, 并通过光学模拟和试验验证探讨了提高 COB 封装功率 LED 取光效率的途径。

关键词: COB、功率 LED、封装取光效率

一、引言

照明应用领域对光源提出了数百、数千、甚至上万流明的光通量要求, 这是单只功率 LED 难以实现的。因此, 功率 LED 的集成封装已成为适应照明应用的技术趋势。功率 LED 的集成封装主要有灯集成和芯片集成两大类。板载芯片集成封装 (Chip-on-Board, 缩写为 COB) 源自于集成电路封装技术, 近几年来在半导体 LED 光源中被广泛应用。

COB 封装的 LED 结构及制作过程是: 先在印刷电路板 (PCB) 上直接制作反光杯, 后将 LED 芯片粘结在 PCB 板的反光杯底部, 再通过键合工艺将金属引线连接 LED 芯片与 PCB 板的电极, 完成电气连接, 最后用有机封装材料 (如硅胶) 覆盖芯片和电极, 形成封装保护和初步的光学结构。^[1]

采用 COB 技术封装的功率 LED 光源结构简单, 制造工艺容易实现, 初期开发费用较低。具有体积小、重量轻、易于进行模组装配等特点。但是, COB 封装的功率 LED 的光学结构往往是平面结构, 而且功率 LED 芯片集中封装在很小的区域之中, 因此, LED 芯片发出的光面

临着从光密介质到光疏介质必然要遇到的反射问题和 COB 封装 LED 小区域热量集聚需要解决的散热问题。上述问题降低了 COB 封装功率 LED 光源的发光效率和封装取光效率。COB 封装的 LED 要获得良好的光效, 达到应用到照明领域要求, 还有一些关键技术需要解决。本文通过对 COB 封装功率 LED 光学结构及相关工艺分析, 找出影响 COB 封装功率 LED 取光效率的 (散热影响暂不在本文讨论) 主要因素, 探讨提高 COB 封装功率 LED 光效的途径。

二、影响 COB 封装功率 LED 取光效率的主要因素

COB 封装功率 LED 的单元结构如下:

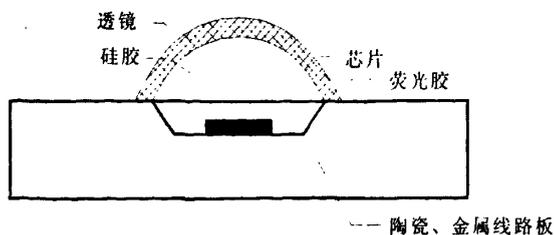


图1 COB封装功率LED单元结构图



COB 封装功率 LED 的光学结构包括反光杯、LED 芯片、荧光胶、硅胶以及透镜几部分。如图 1 所示。这几个部分都能影响 LED 的光效。下面我们运用光学设计理论，结合试验对这些影响 COB 封装功率 LED 光效的因素进行具体分析：

1、芯片位置的影响

芯片的位置不同就意味着发光区的位置不一样，这必然会影响到整个光学设计，我们制作了两个芯片封装位置不同的样品，如图 2 所示。

R、样品 1 的芯片位置 h 以及入射角 θ_1 ，通过三角形的计算公式可求出角度 A，再已知样品 2 的芯片移动 H 后，根据三角形计算公式即可算出 θ_2 ，当 H 移动到一定值后，把具体数值代入得到 θ_2 为 42 度。根据折射定律，光线从光密介质入射到光疏介质时，当入射角达到一定值，即大于等于临界角时，会发生全发射，我们试验用的硅胶折射率为 1.53，它跟空气的临界角为 41 度，也就意味着样品 1 的光线可以射出到空气中而样品 2 的光线会被反射回来，也就是说 2 号样品会有更多的光线损失在

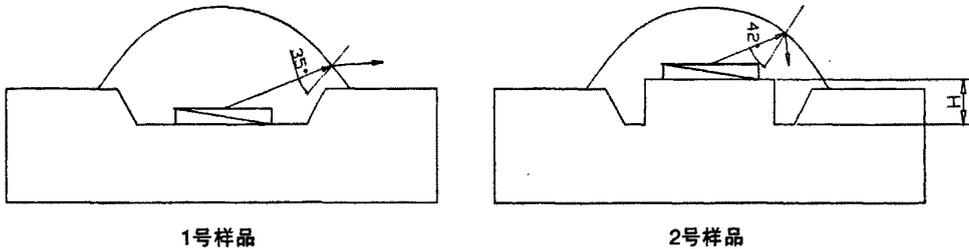


图2 LED芯片不同位置封装结构示意图

表1 不同芯片位置封装的LED的试验测试数据：

样品 ¹⁾ 编号	光通量(lm)	色温(K)	光功率(mW)	半值角(度)
1	84.6	6527	277.5	136.5
2	81.2	6816	270.1	145.6

注：所参与试验的样品封装前均经过光功率、波长、正向电压的测试挑选，挑选参数相近的芯片进行封装对比试验。以下试验的样品同样挑选过，不再一一注明。

从表 1 的数据可以看到不同芯片位置对出光效率的影响。我们具体分析一下光通量存在差异的原因：如图 2 所示，两条光线从 1 号和 2 号芯片射出，能量和方向都一样，假设样品 1 出光点的位置为 h，射出的光线到达硅胶与空气的分界面时的入射角 θ_1 为 35 度，当样品 2 的芯片的位置往上移了 H 时，我们可以通过计算得到样品 2 的光线到达硅胶与空气的分界面时的入射角 θ_2 ，如图 3 所示，已知透镜的半径

硅胶中，光效会更低，分析结果与样品的测试数据相吻合。（临界角计算公式 $\theta_o = \arcsin(n_2/n_1)$ 其中 n_1 和 n_2 为两界面的折射率）

我们利用光学软件建模仿真，模拟出来的光强分布以及光通量结果如下：^[2]

样品 1 的模拟结果：光通量为 84.48、半值角约为 135 度，

样品 2 的模拟结果：光通量为 81.37、半

值角约为 148 度，仿真结果与试验测试结果基本一致。

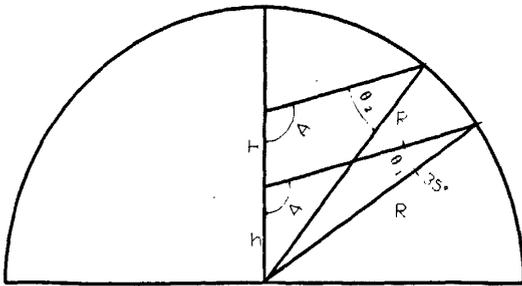


图 3 θ_2 计算简图

它进入空气时的入射角 ≤ 25.8 度它才能射出到晶体外面，但是在这个过程中大部分的光都已经损失掉了，只有很少的一部分能够射出。因此，为了提高 LED 产品封装的取光效率，必须提高 n_2 的值，以提高芯片的反射临界角，从而提高芯片的发光效率。白光 LED 中直接与芯片接触的一般都是荧光胶（硅胶与荧光粉的混合物），所以荧光胶的材料和形状就成为影响光效的一个重要因素。^[3] 由于硅胶混荧光粉的情况会比较复杂，我们先分析芯片直接覆盖硅胶的情况（如图 4），

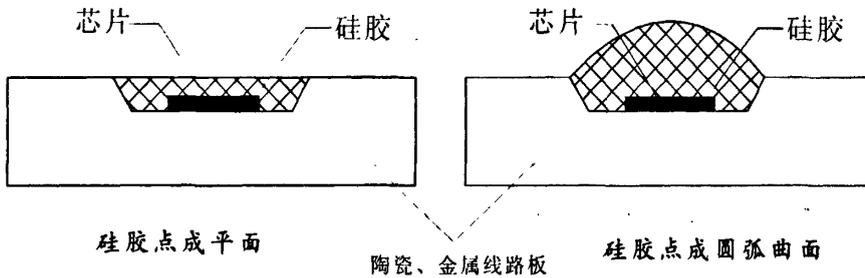


图 4 硅胶的不同封装形状

表 2 采用不同折射率的硅胶以及不同的封装形状得出的试验数据：

加 A 硅胶 ($n=1.41$) 后蓝光数据				
样品编号	硅胶形状	光通量(lm)	临界角 _{芯片-硅胶}	临界角 _{硅胶-空气}
1	平面	10.67	38°	45°
1	圆弧曲面	12.23	38°	45°
加 B 硅胶 ($n=1.53$) 后蓝光数据				
样品编号	硅胶形状	光通量(lm)	临界角 _{芯片-硅胶}	临界角 _{硅胶-空气}
2	平面	9.76	42°	41°
2	圆弧曲面	12.83	42°	41°

注：样品 1、2 都是硅胶先点成平面然后再直接再点成圆弧曲面。

2、荧光胶的形状和材料的影响

对于 GaN 芯片，其材料的折射率是 2.3。根据折射定律，临界角 $\theta_0 = \arcsin(n_2/n_1)$ 由此计算得到光线从芯片射出到空气的临界角 θ_0 约为 25.8 度。能直接射出的光只有入射角 ≤ 25.8 度这个空间立体角内的光，而大于这个角度的光会在晶体内部形成反射，直到某一时刻

从表 2 的数据中，我们可以看到硅胶点成平面时，使用低折射率硅胶的 1 号样品反而比高折射率的 2 号样品的取光效率要好；而硅胶点成圆弧曲面时，两种硅胶的取光效率都有提高，此时使用高折射率硅胶的样品 2 才比样品 1 的取光效率要好。下面就对上列的情况进行分析：

硅胶点成平面的情况（如图 5），A 硅胶

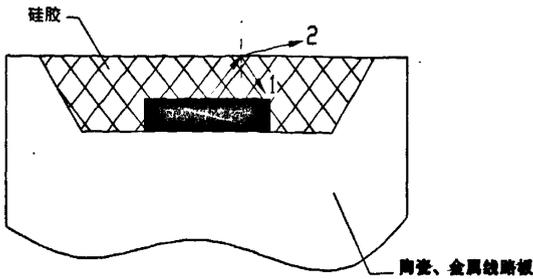


图 5

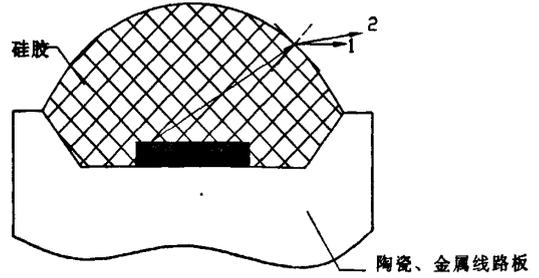


图 6

的折射率为 1.41，那么芯片到硅胶的临界角就约为 38 度，光从硅胶进入空气的临界角约为 45 度，也就是说能直接从硅胶射出到空气中的光只有入射角 ≤ 45 度这个空间立体角内的光。我们在看一下 B 硅胶，它的折射率为 1.53，那么芯片到硅胶的临界角就约为 42 度，要比 A 硅胶的大，按理来说最后的光通量应该会比加 A 硅胶的要高，但实际数据却更小，这是因为光从 B 硅胶进入空气的临界角要比 A 硅胶的要小，它的临界角约为 41 度。如图 5 的示意图，一光线以 42 度的入射角从 A 硅胶射到空气中，由于临界角为 45 度，所以它可以折射到空气中（如图中的光线 2），但如果换成 B 硅胶，它跟空气的临界角为 41 度，那么同样是上面那条光线就会被反射回来（如图中的光线 1），也就是说会有更多的光线损失在硅胶中。所以从试验数据中就可以看到点 A 硅胶的样品的光通量会比点 B 硅胶的光通量要高一点。

硅胶点成圆弧曲面的情况（如图 6），一光线以与芯片成 40 度角的方向进入硅胶，如果

是硅胶点成平面的情况，它和界面的入射角就为 50 度，那么无论是 A 硅胶还是 B 硅胶的硅胶，这条光线都会被反射回去。但如果是如图 6 所示的情况，硅胶的形状点成圆弧曲面，那么当这条光线射到硅胶和空气的分解面时，它与法线的角度可能不到 20 度，也就是说入射角小于 20 度，在这种情况下无论是 A 硅胶还是 B 硅胶，这条光线都可以折射进入空气（如图中的光线 1 和光线 2）。也就是说有更多的光线可以从硅胶中直接射出到空气当中，因此，从试验数据中看到，在硅胶点成圆弧曲面的情况下，光通量要明显高于硅胶点成平面的情况。

用光学软件仿真模拟的结果：

A 硅胶点成平面的结果：光通量为 10.29lm；

A 硅胶点成圆弧曲面的结果：光通量为 11.21lm；

后者光通量大于前者与试验结果吻合。

B 硅胶点成平面的结果：光通量为 8.97lm，比 A 硅胶要小；

B 硅胶点成圆弧曲面的结果：光通量为 11.65lm，比 A 硅胶要大，均与试验结果吻合。

表 3 使用上面两种方式点荧光胶的情况：

荧光胶：A 胶+荧光粉			
样品编号	荧光胶形状	光通量(lm)	色温(K)
1	点成平面	37.66	5472
2	点成圆弧曲面	40.04	5238
荧光胶：B 胶+荧光粉			
样品编号	荧光胶形状	光通量(lm)	色温(K)
3	点成平面	40.2	5780
4	点成圆弧曲面	45.77	5088

从表 3 中的数据可以看到,用 A 硅胶配荧光胶时,在点成圆弧曲面的情况下光通量要比点成平面的情况下略高一些。再看用 B 硅胶配荧光胶时,同样在点成圆弧曲面的情况下光通量要比点成平面的情况下高,效果明显。这是因为 B 硅胶的折射率比 A 高,它的取光效率就要高,也就是说有更多的蓝光可以进入到荧光胶中,对荧光粉的激发效率也就高,再加上硅胶形状为圆弧曲面,使得大部分激发出来的光都能以小角度或者垂直射到界面,不会产生全反射。因此样品的发光效率就较高。其原理与上

3、出光面或者透镜的形状和尺寸以及硅胶的选择

图 7、图 8 所示的为加上透镜,并填充硅胶后样品的情况,

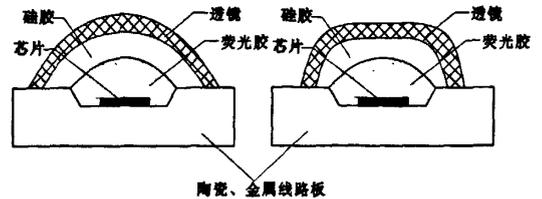


图 7 圆头透镜

图 8 平头透镜

表 4 选用不同硅胶时的测试数据如下

荧光胶: A 胶+荧光粉、圆头透镜				
样品编号	荧光胶形状	填充硅胶	光通量	色温
1	点成圆弧曲面	A	40.57	6110
2	点成圆弧曲面	B	40.2	6265
荧光胶: B 胶+荧光粉、圆头透镜				
样品编号	荧光胶形状	填充硅胶	光通量	色温
3	点成圆弧曲面	A	47.26	5915
4	点成圆弧曲面	B	46.31	6013

表 5 选用不同透镜时的情况,测试数据如下:

荧光胶: B 胶+荧光粉、平头透镜				
样品编号	荧光胶形状	填充硅胶	光通量	色温
5	点成圆弧曲面	A	43.11	6314
6	点成圆弧曲面	B	42.91	6283

面所论述的直接覆盖硅胶基本一致,不过荧光胶里含有荧光粉颗粒,用光学理论分析起来将会比较复杂,这里就不多作论述了。从表 3 中我们还可以看到在点成圆弧曲面的情况下色温要比点成平面的情况下略低,这是因为荧光胶点成平面时全反射比较严重,有很大一部分黄光没有直接射出。而在荧光胶点成圆弧曲面后更多的黄光可以从荧光胶中射出来,所以色温会降低。^[4]

根据表 4、表 5 可以得出以下几点结果:

- (1)在透镜和荧光胶相同的情况下,用不同的填充硅胶最后得到的光通量区别不大。
- (2)用 B 胶混荧光粉封装后的光通量要比 A 胶大。
- (3)用圆头透镜封装要比用平头透镜封装光通量大。

结果分析如下:

第一点,由于配荧光胶和填充胶的折射率差别不大(1.53/1.41),即使光从大折射率的硅



胶进入小折射率的硅胶，它们的临界角为67度，大部分光还是可以直接射出的。从上面的试验数据可以看到1和2，以及3和4的光通量差别不大，所以说同样荧光胶形状的样品用不同的填充硅胶最后得到的光通量差别不大。

第二点，前面已经介绍了用B胶混的荧光胶在点成圆弧曲面时光通量就较大，也就是有更多的光线射到空气中，再盖上圆头透镜，取光效率也不会减少，反而会增加，因为圆头透镜有利于光线的射出。

第三点，由于透镜变成了平头面，从前面的分析就可以知道这对光线的取出是不利的，平头透镜比圆头透镜更容易发生全反射，也就是说会有更多的光线损失在硅胶中。最后封装出来的光通量也是用平头透镜的要低。

用光学软件仿真，结果如下：

圆头透镜不同硅胶时的情况：用A硅胶封装的LED光通量为44.931m，而用B硅胶封装的LED光通量为44.211m，两者光通量差别不大，与试验数据吻合。

相同硅胶，圆头透镜封装的LED光通量为44.0091m，平头透镜封装的LED光通量为41.672lm。圆头透镜封装的光通量要比平头透镜要高。模拟结果与试验结果基本吻合。

三、提高COB封装功率LED取光效率的主要途径

通过对影响COB封装功率LED取光效率因素的分析，我们认为提高取光效率主要有如下途径：

- ①芯片位置应与整体封装结构配合设计；
- ②混合荧光粉的硅胶及用来灌封的硅胶的折射率要与GaN材料尽量接近；
- ③荧光胶的形状最好为圆弧曲面或半球形；
- ④产品封装的形状或者透镜的形状，最好是圆弧曲面或半球形；

总而言之，就是要使光线尽可能多的从封装材料射向空气，最大限度的提高取光效率。除此之外，散热处理不好也会制约COB结构功率LED封装取光效率的提高，封装设计时要将热量管理放在重要位置。

四、结语

COB结构的功率LED封装技术在不断进步，但要进入通用照明领域，还有很多技术改进工作要做。本文通过对COB封装光学结构及相关工艺分析，探讨了影响光效的主要因素及光学优化设计方案。良好的LED封装设计，需要对光学、热学、材料和工艺等方面进行深入的研究，需要对光、电、热、结构等方面统筹考虑。如何在功率LED封装设计过程中把这些方面有机结合，进而最大限度地提高封装取光效率，是LED封装业界要研究的课题。相信只要我们不懈的努力，采用新的材料，新的工艺，新的思路，LED光源将在通用照明应用领域占有重要的位置。

参考文献：

- [1] 李炳乾. 基于金属线路板的新型大功率LED及其光电特性研究[J]. 光子学报, 2005, 34(3):372-374
- [2] 颜峻, 王素彬, 于映. 用蒙特卡罗法模拟LED光源光分布[J]. 福州大学学报, 2003, 31(4):108-110
- [3] 陈明祥, 罗小兵, 马泽涛, 刘胜. 大功率白光LED封装设计与研究进展[J]. 半导体光电, 2006, 27(6):653-658
- [4] 钱可元, 胡飞, 吴慧颖. 大功率白光LED封装技术研究[J]. 半导体光电, 2005, 26(2):118-120.